



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Influencia de la pendiente en la cinemática de
los esquiadores y su utilización en la
reorientación del entrenamiento

-

Influence of the slope on the kinematics of
skiers and their use in the reorientation of
training

Autor

Diego Edo Martínez

Directora

Eva M^a Gómez Trullén

Departamento de Fisiatría y Enfermería

Curso 2018-2019

Resumen

Objetivo. Comprobar si existe influencia de la pendiente en la cinemática de los esquiadores y su utilización en la reorientación del entrenamiento.

Material y métodos. Se ha realizado con 14 esquiadores del club Cota 2000, separados en dos grupos de nivel (avanzado y experto). Los esquiadores realizaron tres descensos por un trazado con diferentes pendientes, en el que se analizaron dos curvas una hacia cada lado en las zonas de alta, media y baja pendiente. Se analizaron la cinemática de los corredores, así como su rendimiento.

Resultados. El estudio muestra que los grupos son homogéneos en cuanto a sus características físicas, siendo el IMC la única variable en mostrar diferencias. Los esquiadores de nivel experto obtuvieron mayores ángulos de inclinación y angulación que los de nivel avanzado en las diferentes partes del trazado. Estos ángulos también fueron mayores cuanto mayor era la pendiente de la pista.

Con respecto al rendimiento los esquiadores que mayores ángulos de inclinación y angulación alcanzaron, obtuvieron mejores resultados.

Conclusiones. El estudio por medio de imágenes videográficas de la cinemática de los esquiadores parece un buen método para la predicción del rendimiento en un trazado de Slalom y su utilización para reorientar el entrenamiento.

Palabras clave: Esquí alpino, Cinemática, Rendimiento, Reorientación del entrenamiento, Análisis videográfico.

Abstract

Objectives. To check if there is influence of the slope in the kinematics of the skiers and its use in the reorientation of the training.

Material and methods. It has been carried out with 14 skiers from the Cota 2000 club, separated into two level groups (advanced and expert). The skiers made three descents through a layout with different slopes, in which two curves were analyzed one towards each side in the areas of high, medium and low slope. The kinematics of the riders were analysed, as well as their performance.

Results. The study shows that the groups are homogeneous in terms of their physical characteristics, with the BMI being the only variable to show differences. Expert level skiers obtained greater angles of inclination and angulation than advanced level skiers in the different parts of the layout. These angles were also greater the steeper the slope of the track.

With respect to performance, skiers with higher angles of inclination and angulation achieved better results.

Conclusions. The study by means of videographic images of the kinematics of the skiers seems a good method for the prediction of the performance in a Slalom layout and its use to reorient the training.

Keywords: Alpine skiing, Kinematics, Performance, Reorientation of training, Video analysis.

Índice

1. Introducción	Pág. 9
2. Hipótesis y objetivos	Pág. 14
3. Material y método	Pág. 15
3.1. Muestra	Pág. 15
3.2. Material	Pág. 16
3.3. Método	Pág. 20
3.4. Variables	Pág. 21
3.5. Análisis estadístico	Pág. 24
4. Resultados	Pág. 25
5. Discusión	Pág. 43
6. Conclusiones	Pág. 50
7. Limitaciones	Pág. 51
8. Agradecimientos	Pág. 52
9. Bibliografía	Pág. 53
10. Anexos	Pág. 55

1. Introducción

Históricamente, el esquí como forma de locomoción fue fundamental en actividades como la caza, el transporte médico y los conflictos militares.

La palabra "esquí", que hace alusión al material utilizado y la forma que tomó, deriva del antiguo "skith" nórdico, que significa una pieza de madera. Se cree que los primeros esquiadores fueron cazadores de la Edad de Piedra (1). Los esquís, sin embargo, parecen haber sido utilizados únicamente en el norte de Europa y el norte de Asia (2). No fue hasta principios de 1800 que el esquí se hizo popular como un medio de ejercicio y se tardaría casi 100 años en adaptarse como deporte. Actualmente el esquí es uno de los deportes de invierno más practicados a nivel mundial, siendo los países del norte de Europa y norte América las mayores potencias a nivel mundial (3).

Siguiendo a Supej et al. (4), el esquí alpino es un deporte físico, técnico y tácticamente complejo y desafiante, ha sido un evento olímpico desde los primeros Juegos de Invierno en Garmisch-Partenkirchen, Alemania, en 1936. Una capacitación más efectiva y avances en equipos y en el estado de la nieve han mejorado el rendimiento de los esquiadores.

Este deporte incluye los eventos técnicos: slalom (SL) y gigante slalom (GS), y los eventos de velocidad: super gigante (SG) y descenso (DH), cada uno con una distancia entre puertas (y por lo tanto radio de giro), terreno, velocidad y distancia de trazado, regulados por la Federación Internacional de Esquí (FIS). (5)

De todas las disciplinas citadas anteriormente, el presente estudio se centra en el análisis de los principales factores biomecánicos de la disciplina de slalom ya

que es la más practicada junto con el slalom gigante en las edades de U-14 y U-16.

Como podemos observar en Reglamento Internacional de esquí alpino (RIS) (6) la prueba de slalom consta de las siguientes características:

- La anchura de una puerta deberá ser de 4 m mínimo y 6 m máximo. La diferencia entre palos de giro de puertas abiertas o cerradas no deberá ser inferior a 6 m ni superior a 13 m (válido para todas las categorías). Excepto en las competiciones para niños: entre 7 m y 11 m.
- Una pista de slalom debe tener una pendiente media comprendida entre aprox. 33% y 45%. También puede ser inferior a aprox. 33%, pero no podrá sobrepasar aprox. 52% en secciones muy cortas.
- Una puerta de slalom consta de dos palos o cuando no haya palo exterior, la puerta consistirá en el palo de giro.
- Las puertas sucesivas son alternativamente azules y rojas.

Es, también, de interés conocer las características que debe tener el material de los corredores que realizan la prueba de Slalom, para saber si se cumplen las homologaciones. En el Reglamento sobre las especificaciones del material (7) podemos observar las siguientes características:

- La longitud de los esquís utilizados para la prueba de slalom tendrá un mínimo de 130 cm. para la categoría de U-14 y U-16.
- Los corredores deberán llevar casco y mono de competición homologado por la FIS.
- Se recomienda el uso de protecciones en bastones, espinilleras y mentonera en el casco, así como el uso de espaldera.

Una vez conocido en que consiste la disciplina del slalom y cuáles son los materiales utilizados por los esquiadores en esta prueba debemos saber que es la prueba más técnica de todas y es en ella donde mejor se pueden observar todos los movimientos del cuerpo humano que se realizan en un deporte tan técnico como el esquí alpino.

Los principales movimientos que podemos encontrar en el esquí alpino según Guerrero (8) son:

- **Angulación:** Ángulo que adoptan las extremidades inferiores respecto del torso. Su principal efecto es trasladar el centro de gravedad al exterior de la curva y transferir más presión al esquí externo, a la vez que se cantean las tablas.
- **Inclinación:** Movimiento pendular en el que el cuerpo adopta un ángulo menor de 90° respecto el suelo. En esquí suele servir para adoptar un mayor canteo, para iniciar un viraje o para oponerse a la fuerza centrífuga una vez inmersos en el mismo.

Existen muchos movimientos asociados a la curva del esquí alpino, pero no tienen tanta relevancia en la realización de esta como estos dos.

Como podemos observar en el estudio de Supej et al. (9) las inclinaciones corporales y las angulaciones de rodilla y cadera, teóricamente, son más pronunciadas para lograr un ángulo de canteo similar en las pendientes más fuertes y, a la inversa, las inclinaciones corporales y las angulaciones de rodilla y cadera son más pequeñas para lograr un ángulo de canteo similar en las pendientes menos fuertes. Por lo tanto, a velocidades y distancias de puerta similares, los esquiadores deben ajustar las angulaciones laterales de la rodilla

y la cadera en diferentes tipos de pendientes tan pronto como el aumento de la inclinación corporal comprometa el equilibrio.

De este modo, se debería de tener en cuenta el tipo de pendiente en la que el esquiador va a realizar la carrera para saber si estos parámetros teóricos se cumplen y así poder mejorar su rendimiento.

Los parámetros más utilizados para medir el rendimiento en las pruebas de esquí alpino son el tiempo en el que el corredor realiza el trazado y la velocidad alcanzada por los corredores en la realización del trazado o en una parte del mismo, además, de la técnica utilizada por los corredores en la realización de la prueba. (10)

El esquí alpino es un deporte en el que los esquiadores pueden alcanzar velocidades comprendidas entre los 30-40 Km/h en la prueba de slalom a los 140 Km/h en la prueba de descenso. Para ello el método de análisis más utilizado en el esquí alpino es el video.

Según Klous et al. (11) en su estudio comprobó la utilización de métodos videográficos en las pistas de esquí para la recopilación de datos sobre el esquí alpino y snowboard, concluyendo que la recopilación de datos cinemáticos precisos para el esquí y el snowboard se pueden realizar en un entorno de campo y que estos resultados son lo suficientemente precisos como para servir como datos de entrada para futuros análisis.

A parte de la utilización del video para el análisis cinemático de los esquiadores se utilizan otros métodos como puede ser las fotocélulas, con las que podemos obtener el tiempo y de esta forma conocer el rendimiento obtenido, por el corredor en la carrera.

Con todo esto parece interesante para los entrenadores, desde el punto de vista del rendimiento en el esquí alpino, conocer la inclinación y angulación generada por sus esquiadores en las diferentes pendientes, donde se realiza el entrenamiento y saber la influencia que tienen las mismas, en el rendimiento tanto de la velocidad generada y del tiempo, que tardan en realizar el trazado.

Actualmente, no existen suficientes estudios sobre la cinemática del esquí alpino y su influencia en el rendimiento en la disciplina de Slalom. Seguramente, esta escasez de estudios se debe a la dificultad de obtener datos en los entrenamientos y competiciones al realizarse la práctica del esquí alpino en un entorno cambiante y con duras condiciones, en algunas ocasiones.

Debido a lo observado, anteriormente, y a mi experiencia como entrenador de esquí alpino, la realización de este estudio es interesante ya que se compara la cinemática de la técnica en la prueba de slalom entre dos grupos de esquiadores de distinto nivel, con el objetivo de analizar las diferencias encontradas y estudiar la posibilidad de realizar la reorientación del entrenamiento en esquiadores que todavía no han alcanzado un nivel óptimo de competición.

2. Hipótesis y objetivos

La hipótesis en la que se fundamenta este estudio es que los esquiadores de mayor nivel tienen diferencias cinemáticas en la realización de un trazado de slalom, y, en particular, en los diferentes tipos de pendientes que conllevan a un mayor rendimiento deportivo.

Por lo tanto, el objetivo principal es realizar la medición de los parámetros de rendimiento y la causa cinemática de este en los diferentes tipos de pendiente en dos grupos de nivel de competición.

Esto será posible con la realización de los siguientes objetivos específicos en este estudio:

- Determinar si los grupos de estudio son homogéneos respecto a sexo, lateralidad e IMC
- Analizar la inclinación y angulación de los esquiadores de cada nivel en las diferentes pendientes del trazado.
- Comparar las variables cinemáticas estudiadas entre las distintas pendientes para cada grupo de estudio.
- Establecer si existen diferencias en la inclinación y la angulación en extremidades inferiores y tronco entre ambos grupos de nivel en cada tipo de pendiente.
- Comparar las variables que determinan el rendimiento, tiempo y velocidad entre los diferentes grupos de nivel en un mismo trazado, así como, entre sexos.
- Correlacionar las variables rendimiento con las cinemáticas analizadas en este estudio.

3. Material y Método

3.1. Muestra

Los sujetos que han participado en este estudio pertenecen todos al Club de esquí Cota 2000 que realiza sus entrenamientos en la estación de esquí de Aramon Valdelinares.

La muestra es de 14 sujetos divididos en dos grupos: uno con un nivel de “experto” de 7 integrantes (4 mujeres y 3 hombres) y otro grupo con un nivel de esquí “avanzado” de 7 integrantes (4 mujeres y 3 hombres) todos ellos comprendidos entre los 14 y 16 años.

Estos niveles fueron elegidos de acuerdo al estudio de Vansteenkiste et al. (12) cuyo único criterio de inclusión era haber competido a nivel nacional en los dos últimos años. Según, este criterio:

- El grupo de nivel experto había competido a nivel nacional en los últimos dos años y contaba con una media $1085,71 \pm 65,47$ horas de entrenamiento;
- El grupo de nivel avanzado no había competido en ninguna carrera a nivel nacional en los últimos dos años y contaba con una media de $671,43 \pm 90,24$ horas de entrenamiento.

A nivel de rendimiento, el grupo de corredores experto, contaba con resultados importantes a nivel local en las diferentes carreras sociales, pero no habían cosechado triunfos importantes a nivel nacional quedando siempre dentro del top 50. Por otro lado, el grupo avanzado no tenía grandes resultados a nivel local, quedando siempre en posiciones posteriores con respecto a los corredores del grupo experto.

3.2. Material

El material que han utilizado ambos grupos de esquí cumplía las medidas y longitudes que estipula la FIS (Federación Internacional de Esquí) siendo la medida diferente para los hombres y para las mujeres. En el caso de los hombres utilizaron esquís de slalom de 165cm. y radio de giro de 12 metros y en el caso de las mujeres esquís de 157cm. y radio de giro de 11 metros. Todos los corredores realizaron las diferentes bajadas el mismo día con el mono de competición y con las protecciones adecuadas para esta disciplina. Las botas utilizadas eran de diferente índice de flexión, pero este oscilaba entre los 100 y los 120 N·m.

Se utilizaron seis cámaras de video de la marca Gopro Hero5 con una calidad de imagen 4k que graba a 30fps para realizar la toma de imágenes en cada una de las puertas que se han analizado en el estudio. Estas cámaras se colocaron todas a la misma distancia de la puerta justo debajo de la misma como podemos observar en la Ilustración 1.

Además, los palos utilizados fueron palos de 30mm de diámetro homologados por la FIS para competiciones internacionales.

Estos palos fueron colocados por medio de un taladro y la respectiva llave de apretar los palos en la nieve. Las distancias para su colocación se realizaron a través de un telémetro laser.

Para la toma de tiempos se utilizó una fotocélula de la marca

ALGE-Timing con un portillón de salida y una fotocélula en meta que utiliza la estación para la realización de carreras.

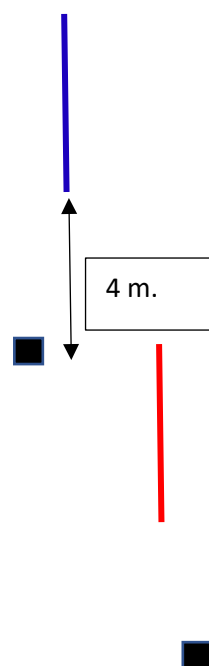
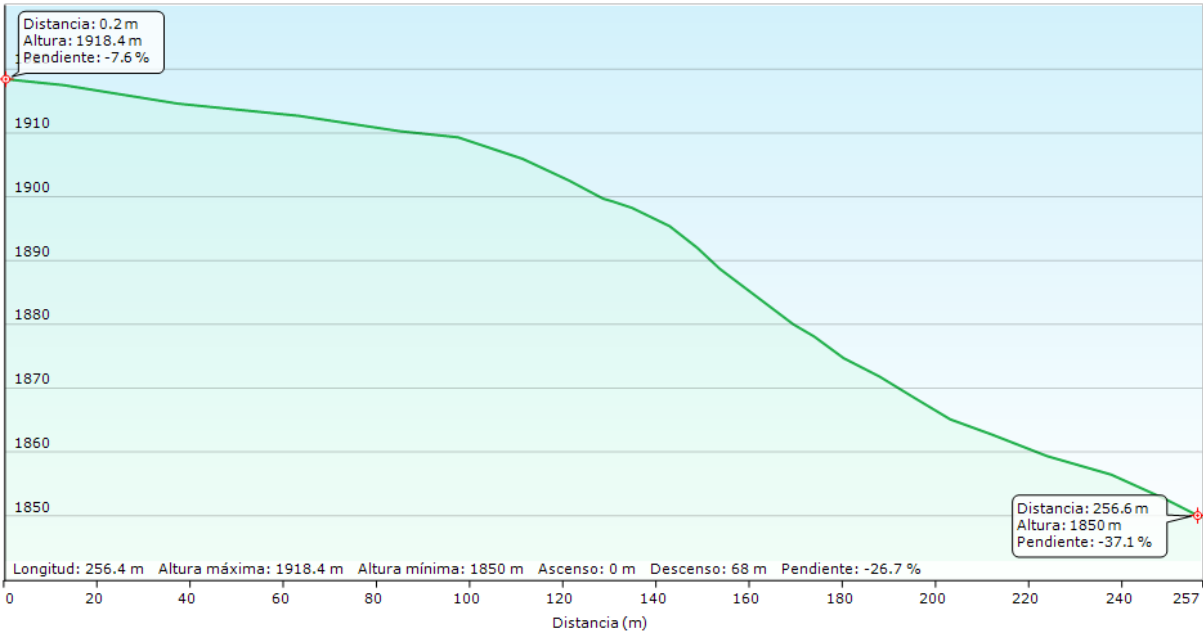


Figura 1. Esquema de colocación de las cámaras

La pista elegida para la realización de las grabaciones fue la pista Chaparrilla, pista homologada para la realización de carreras nacionales en la disciplina de slalom. Esta pista cuenta con una distancia de 257 m y un desnivel medio de 26,7% como podemos observar en la gráfica 1 de los datos obtenidos mediante el GPS Garmin.



Gráfica 1. Longitud y pendiente media pista Chaparrilla

Esta pista fue dividida para el estudio en tres partes:

	Baja pendiente	Alta pendiente	Media pendiente
Longitud	122 m.	80 m.	57 m.
Pendiente	13,4 %	45,6%	29%

Tabla 1. Longitud y desnivel de las diferentes partes de la pista

En cada una de estas partes se realizará la grabación de dos giros uno a cada lado de los cuales más adelante se extraerán los datos oportunos para el estudio.

Para colocación de las puertas del trazado se utilizaron las mismas medidas utilizadas en el estudio de Spörri, Kröll, Fasel, Aminian, & Müller, (2016). Estas

medidas como se puede observar en la imagen extraída del artículo citado anteriormente consisten en 10 metros verticales de distancia entre palo de giro y 3 metros de distancia horizontal. Estas medidas aplicadas a la pista utilizada para la realización de este trabajo permiten colocar un total de 25 giros o puertas.

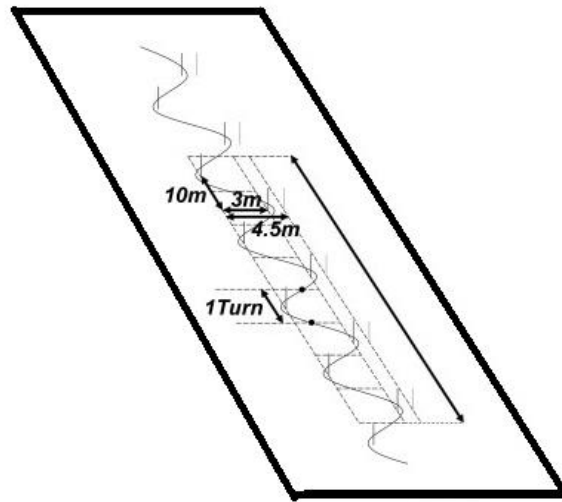


Figura 2. Imagen modificada de la colocación de las puertas según (13).

Con respecto a la meteorología que encontramos el día de la grabación podemos decir que las condiciones eran óptimas y la pista mantuvo durante la duración de esta las mismas características. Estas condiciones eran de sol, una temperatura media de -4°C y con poco viento que mantuvieron la calidad de la nieve en todo momento en nieve polvo-dura.

Para la extracción de estos datos se utilizó el programa de análisis de movimiento KINOVEA en el cual se analizaron las diferentes imágenes. La imagen analizada en todos los giros fue en la cual el corredor se encontraba en línea de máxima pendiente a su paso por la puerta.



Figura 3. Ejemplo de imagen analizada mediante el programa KINOVEA.

3.3. Método

El protocolo de grabación consistió en primer lugar en la realización de una bajada de reconocimiento por parte de los corredores para analizar cómo se encontraba la pista y como estaba colocado el trazado por el que iban a efectuar las bajadas.

Seguidamente, uno de los entrenadores realizó una bajada como “abridor” para comprobar que el trazado se encontraba en condiciones óptimas y que los sistemas de medición y grabación funcionaban de manera correcta.

Los corredores una vez que todo estaba preparado para la realización de la prueba realizaron tres bajadas por el trazado. Durante las tres bajadas se realizó la grabación de los seis giros (uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda en cada una de las partes) y también se tomó el tiempo que tardaban en completar el trazado. El orden de salida de los corredores se realizó por medio de un sorteo previo a las grabaciones y luego se mantuvo el orden en las posteriores.

Una vez realizada la grabación, los diferentes corredores se desplazaron hasta la escuela de esquí, donde se realizaron las mediciones del peso y la talla. También respondieron a unas preguntas sobre las horas de entrenamiento que habían realizado a lo largo de su vida (100 horas aproximadamente por año esquiado), lado dominante, sexo, edad y nivel en el cual estaban compitiendo actualmente.

3.4. Variables

Las variables independientes analizadas en este estudio han sido:

- El nivel de cada deportista diferenciando entre experto o avanzado.
- Edad.
- Sexo.
- Peso y talla (Índice de masa corporal)
- Horas de entrenamiento.
- Lateralidad

Todas estas variables fueron recogidas en la entrevista realizada después de la realización de las grabaciones en el trazado.

Las variables dependientes han sido las obtenidas por medio de las grabaciones:

- La inclinación del centro de gravedad que de acuerdo con Gómez, Gutiérrez, & Soto, (2004) se ha realizado con la medición del ángulo producido entre la línea que va desde la punta del pie externo al centro de gravedad situado a nivel de la cadera externa y el eje de coordenadas Y del centro de gravedad. (Figura 3)
- La angulación de la cadera externa se ha realizado de acuerdo al estudio de Supej, Hébert-Losier, & Holmberg, (2015) con en el ángulo que se forma entre la línea creada desde la punta del pie externo al centro de gravedad (cadera externa) y la línea que marca el tronco. (Figura 3)
- La angulación de la rodilla externa se ha medido con la utilización de la técnica del artículo citado anteriormente y consiste en la medición del ángulo formado por el segmento pierna y la prolongación del eje del fémur. (Figura 3)

- La angulación de la pierna externa o “Edge angle” se ha obtenido sus datos por medio de la medición del ángulo formado por el segmento pierna y la línea de pendiente de la pista como en el artículo citado anteriormente.

(Figura 3)

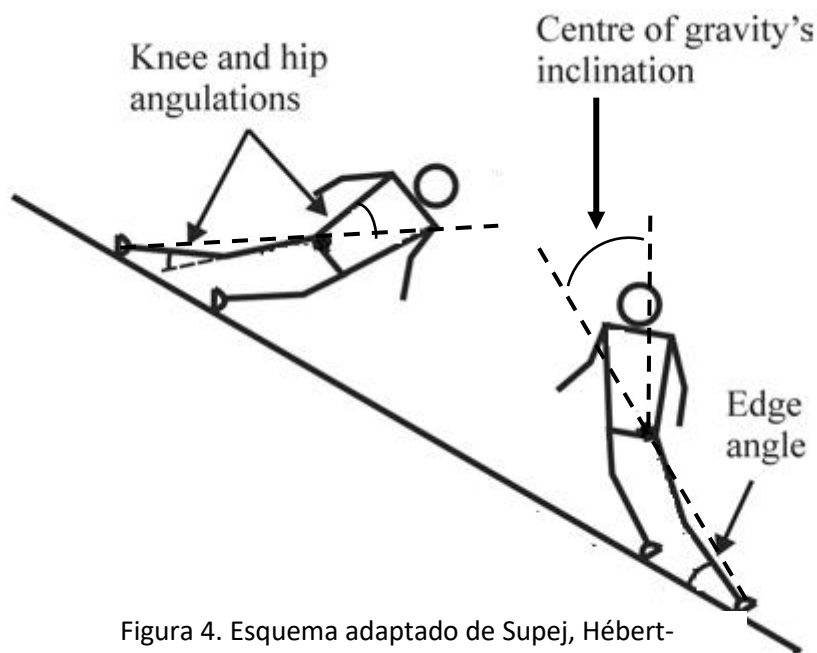


Figura 4. Esquema adaptado de Supej, Hébert-Losier, & Holmberg, (2015) de las diferentes variables extraídas de la grabación

Estas variables fueron extraídas de los diferentes giros que fueron capturados por las cámaras de video. Es decir, se obtuvieron los datos de los tres descensos de cada deportista para las curvas derechas e izquierdas de las diferentes zonas de baja pendiente, media pendiente y alta pendiente.

También se realizó la toma de tiempo en completar el trazado, mediante el cual conociendo la distancia del mismo pudimos obtener la velocidad media de los corredores en el trazado.

Para la obtención de este dato se utilizó la fórmula de la velocidad:

$$V = \frac{e}{t}$$

Todos los datos de estas variables fueron recogidos para todos los sujetos y se ordenaron en una hoja de cálculo creada en el programa Microsoft Office Excel 2016. Los cuales fueron comprobados para que no existiría ningún duplicado o error.

3.5. Análisis estadístico

Se realizó en primer lugar un análisis descriptivo de las variables a estudio. Las variables cualitativas se describen con frecuencias relativas en porcentajes (%), mientras que las variables cuantitativas se describen utilizando la media aritmética, la desviación estándar.

Para estimar la posible asociación entre dos variables cualitativas se utilizó la prueba Chi-cuadrado de Pearson. Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra se realizó la prueba de Shapiro-Wilk ($n < 50$) para determinar si las variables a estudio siguen una distribución normal. En este caso no se cumple el criterio de normalidad por lo que se han aplicado las pruebas alternativas no paramétricas: U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis, respectivamente.

En todos los casos se considerarán significativos valores de “p” inferiores a 0,05.

Para toda la investigación se utilizará el programa estadístico IBM SPSS Stastics v21.

4. Resultados

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos por medio de los procedimientos estadísticos nombrados anteriormente. Los datos han sido ordenados y simplificados en diversas tablas y gráficas para facilitar su comprensión.

Para iniciar el estudio se comprobó que ambos grupos son homogéneos para las variables independientes determinadas en material y método. No existen diferencias estadísticamente significativas para las variables de edad, sexo y lateralidad entre ambos grupos, únicamente existe para la variable IMC.

Esta diferencia sobre el IMC no afecta a la inercia de los corredores dado que los tiempos obtenidos por los corredores con mayor IMC son mayores y por lo tanto la velocidad media es menor. Una de las causas que justifica que se produzcan estos datos son que la disciplina de slalom es la prueba más técnica de todas y por lo tanto el efecto del peso sobre la velocidad no es tan importante como la movilidad y técnica que tenga cada esquiador (tabla 2).

	Avanzados	Expertos	
	Media \pm Desviación típica	Media \pm Desviación típica	p
IMC	24,11 \pm 2,26	22,69 \pm 1,40	0,02
Velocidad	26,73 \pm 0,73	31,23 \pm 0,90	0,00
Tiempo	34,62 \pm 0,95	29,64 \pm 0,89	0,00

Tabla 2. Comparación entre niveles del IMC y el rendimiento.

Continuamos realizando una comparación entre las diferentes pendientes en las que se ha realizado el estudio para las mismas variables. Para ello en la Tabla 3, podemos observar las medias de las variables y si estas poseen entre si diferencias significativas del grupo de los esquiadores de nivel experto.

Comparación de las variables de angulación e inclinación en expertos				
Curva hacia la izquierda				
	Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	
	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	p
Ang. cadera	35,24 \pm 3,94	27,86 \pm 2,39	21,90 \pm 3,31	0,000
Ang. rodilla	10,48 \pm 3,97	21,43 \pm 7,03	20,10 \pm 6,40	0,000
Ang. pierna	28,10 \pm 4, 11	33,43 \pm 5,15	46,24 \pm 5,89	0,000
Inclinación	48,14 \pm 2,67	41,24 \pm 3,56	31,19 \pm 5,05	0,000
Curva hacia la derecha				
	Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	
	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	P
Ang. cadera	36,24 \pm 2,66	38,52 \pm 8,46	13,14 \pm 3,65	0,000
Ang. rodilla	10,14 \pm 2,45	32,38 \pm 2,03	19,52 \pm 5,89	0,000
Ang. pierna	27,38 \pm 4,26	35,05 \pm 7,14	51,71 \pm 6,37	0,000
Inclinación	47,14 \pm 2,24	45,14 \pm 5,70	25,00 \pm 4,21	0,000

Tabla 3. Comparación de las variables de angulación e inclinación en el grupo de expertos para la alta, media y baja pendiente.

Como podemos observar a partir de la comparación realizada en la Tabla 3 todas las variables de la angulación y la inclinación poseen una diferencia significativa. Comenzamos con la inclinación que han alcanzado los deportistas de nivel experto en las diferentes zonas del trazado. Esta inclinación ha sido mayor en ambas curvas en la zona de alta pendiente, seguido de la media pendiente y por último la baja pendiente.

Con relación a la inclinación del centro de gravedad podemos observar que la angulación de la pierna externa es mayor cuanto menor es la inclinación. Por lo tanto, encontramos mayores ángulos en la zona de baja pendiente y va disminuyendo según aumenta la pendiente siendo menor en la zona de alta pendiente.

En la mayoría de las curvas medidas hacia ambos lados tenemos mayor angulación de cadera, esto se debe a que al existir mayor inclinación en estas zonas es necesario realizar una angulación mayor para no perder el apoyo en el esquí exterior. Solo en la curva hacia la derecha en la zona de media pendiente hemos observado que la angulación es mayor que en la zona de alta pendiente este hecho es posible gracias a que la inclinación generada en esta curva por parte de los esquiadores es bastante elevada y próxima a la inclinación producida en la zona de alta pendiente.

La angulación de la rodilla, como podemos observar en la tabla, es mayor en la zona de media pendiente y seguidamente en la zona de baja pendiente.

A continuación, analizaremos los mismos parámetros analizados anteriormente, pero en este caso lo haremos para los esquiadores de nivel avanzado como podemos comparar en la Tabla 4.

Comparación de las variables de angulación e inclinación en avanzados				
Curva hacia la izquierda				
	Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	
	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	p
Ang. cadera	34,52 \pm 4,58	19,86 \pm 2,98	21,10 \pm 2,04	0,000
Ang. rodilla	19,10 \pm 4,51	24,71 \pm 2,55	27,33 \pm 5,19	0,000
Ang. pierna	31,71 \pm 3,36	39,71 \pm 3,00	46,33 \pm 2,55	0,000
Inclinación	44,14 \pm 3,27	37,38 \pm 3,58	24,62 \pm 5,11	0,000
Curva hacia la derecha				
	Alta pendiente	Media pendiente	Baja pendiente	
	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	Media \pm Desv. tip	p
Ang. cadera	35,10 \pm 4,33	23,90 \pm 6,04	12,48 \pm 2,56	0,000
Ang. rodilla	14,57 \pm 5,04	32,67 \pm 4,00	25,19 \pm 3,12	0,000
Ang. pierna	39,29 \pm 5,55	35,76 \pm 4,12	53,43 \pm 4,24	0,000
Inclinación	39,10 \pm 3,33	40,57 \pm 2,92	19,52 \pm 3,81	0,000

Tabla 4. Comparación de las variables de angulación e inclinación en el grupo de avanzados para la alta, media y baja pendiente.

Al igual que para los esquiadores de nivel experto podemos observar que en el grupo de avanzados todas las variables de angulación e inclinación poseen una diferencia significativa, pero en el caso de los esquiadores avanzados a pesar de todo, las inclinaciones alcanzadas son menores que las alcanzadas por los esquiadores expertos.

Comenzamos con la comparación de la inclinación en este grupo de esquiadores avanzados. En las curvas realizadas hacia la izquierda los esquiadores realizan más inclinación en la zona de alta pendiente, seguido de la zona de media pendiente y de la zona de baja pendiente. Este hecho es igual que en el grupo de esquiadores expertos. Lo que lo distingue del otro grupo es lo que ocurre con

la curva que se realiza hacia la derecha dado que en este caso la inclinación más alta se da en la zona de media pendiente, seguido de la zona de alta pendiente y por último la baja pendiente.

En el caso de la angulación de la cadera en la curva hacia la derecha se alcanzan mayores ángulos de la misma cuanto mayor es la pendiente. Estas medidas se contradicen con la inclinación que hemos analizado anteriormente dado que pese a que los mayores niveles de inclinación se daban en la zona media, la angulación más alta se produce en la zona de alta pendiente.

Por otro lado, en la curva hacia la izquierda la angulación de la cadera es mayor en la zona de alta pendiente, pero en este caso en vez de ser mayor en la zona de media pendiente, es mayor en la zona de baja pendiente.

La angulación de rodilla exterior en el caso de los esquiadores avanzados para la curva hacia la derecha cumple el mismo patrón que en los esquiadores expertos. En el caso de la angulación de la rodilla es mayor en el grupo de esquiadores avanzados que en el grupo de esquiadores expertos.

La angulación de la pierna exterior sigue siendo mayor en las zonas donde los esquiadores de nivel avanzado han producido menor inclinación, destacando los altos ángulos alcanzados en la zona de baja pendiente. En la curva hacia la derecha es mayor la angulación en la zona de alta pendiente que en la zona de media pendiente. En comparación con los esquiadores de nivel experto esta angulación es mayor en todas las zonas.

En la curva realizada hacia la izquierda la angulación de la rodilla es mayor en la zona de baja pendiente.

En la tabla 5, 6 y 7 podemos observar las variables analizadas de las angulaciones y de las inclinaciones para la zona de alta pendiente, media pendiente y baja pendiente respectivamente para ambos grupos y si existen diferencias significativas entre ellos

Avanzados		Expertos	
Curva hacia la izquierda			
	Media ± Desviación típica	Media ± Desviación típica	p
Ang cadera	34,52 ± 4,58	35,24 ± 3,94	n.s.
Ang. rodilla	19,10 ± 4,51	10,48 ± 3,97	0,000
Ang. pierna	31,71 ± 3,36	28,10 ± 4, 11	0,005
Inclinación	44,14 ± 3,27	48,14 ± 2,67	0,001
Curva hacia la derecha			
	Media ± Desviación típica	Media ± Desviación típica	p
Ang cadera	35,10 ± 4,33	36,24 ± 2,66	n.s.
Ang. rodilla	14,57 ± 5,04	10,14 ± 2,45	0,002
Ang. pierna	39,29 ± 5,55	27,38 ± 4,26	0,000
Inclinación	39,10 ± 3,33	47,14 ± 2,24	0,000

n.s. = no significativo, $p > 0,05$

Tabla 5. Comparación por nivel de los parámetros estudiados por Kinovea para la zona de alta pendiente.

En la tabla 5 observamos que la gran mayoría de las variables analizadas tienen una diferencia significativa dado que $p < 0,05$. El único caso que observamos que no existen diferencias significativas son en el caso de la angulación de la cadera externa para ambas curvas.

De los datos obtenidos mediante la tabla anterior podemos observar el Gráfico 2 en el que podemos comparar las variables de la zona de alta pendiente para conocer en cuál de los casos existen diferencias significativas.

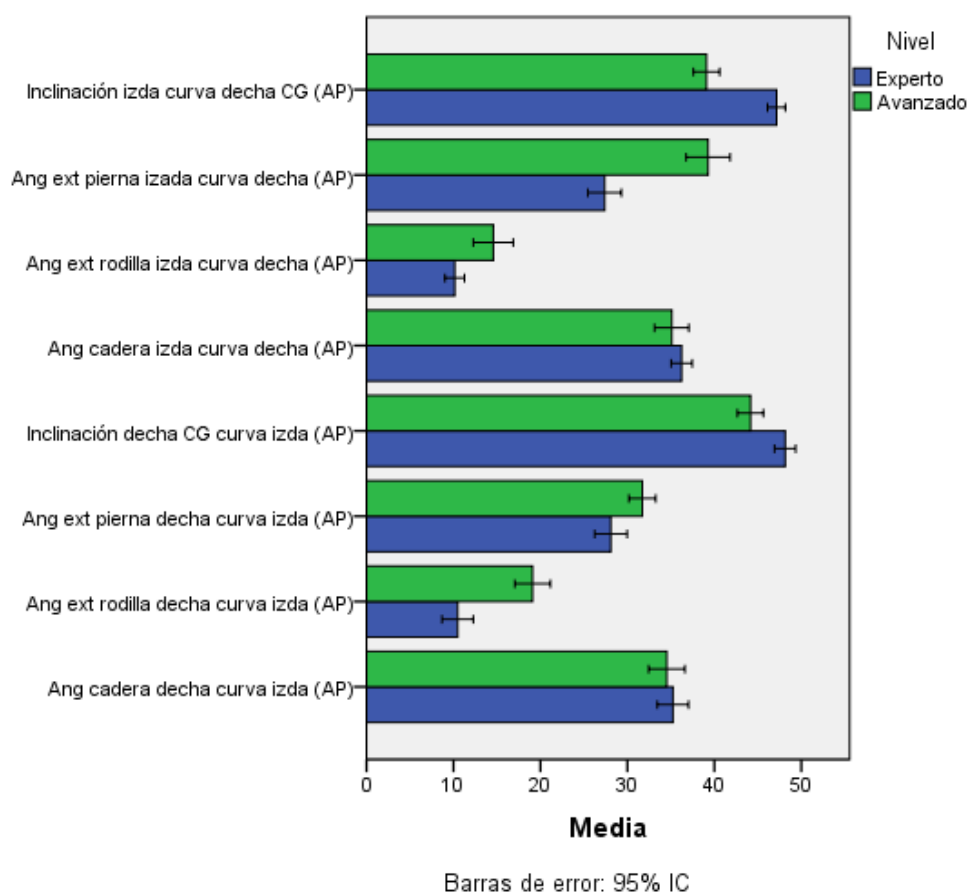


Gráfico 2. Comparación entre ambos niveles de las variables de angulación e inclinación en la zona de alta pendiente.

La inclinación como podemos observar es mayor hacia ambos lados en los corredores de nivel experto, que en el grupo de corredores de nivel avanzado.

Por otro lado, podemos observar que los esquiadores de nivel experto pese a realizar una angulación de cadera externa similar a los esquiadores de nivel avanzado realizan mucha menos angulación de rodilla en la realización de ambas curvas.

Avanzados		Expertos	
Curva hacia la izquierda			
	Media ± Desviación típica	Media ± Desviación típica	p
Ang cadera	19,86 ± 2,98	27,86 ± 2,39	0,000
Ang. rodilla	24,71 ± 2,55	21,43 ± 7,03	n.s.
Ang. pierna	39,71 ± 3,00	33,43 ± 5,15	0,000
Inclinación	37,38 ± 3,58	41,24 ± 3,56	0,002
Curva hacia la derecha			
	Media ± Desviación típica	Media ± Desviación típica	p
Ang cadera	23,90 ± 6,04	38,52 ± 8,46	0,000
Ang. rodilla	32,67 ± 4,00	32,38 ± 2,03	n.s.
Ang. pierna	35,76 ± 4,12	35,05 ± 7,14	n.s.
Inclinación	40,57 ± 2,92	45,14 ± 5,70	0,006

n.s. = no significativo, $p > 0,05$

Tabla 6. Comparación por nivel de los parámetros estudiados por Kinovea para la media pendiente.

En la tabla 6 podemos observar que en el caso de la media pendiente casi todas las variables cuentan con una diferencia significativa menos el caso de la variable de la angulación de la rodilla externa derecha en la curva hacia la izquierda y las variables de la angulación de la rodilla externa izquierda y la angulación de la pierna externa izquierda para el caso de la curva hacia la derecha.

En el Gráfico 3 observamos las variables que contienen diferencias significativas entre ambos grupos de nivel.

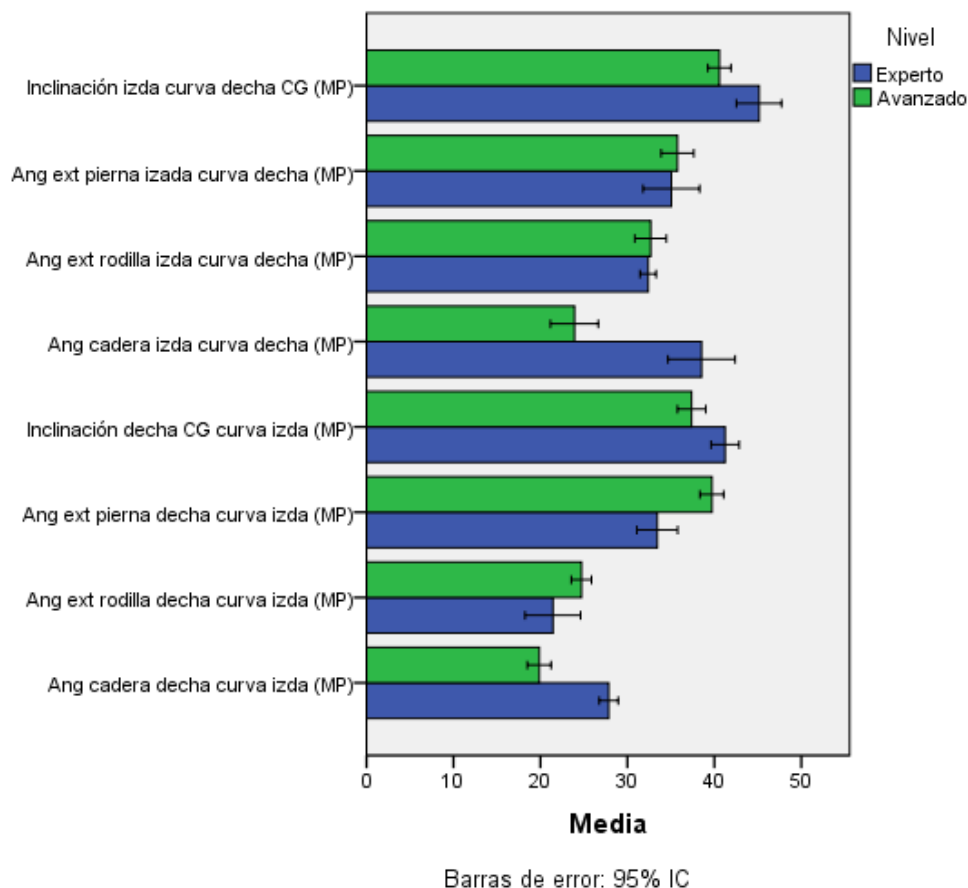


Gráfico 3. Comparación entre ambos niveles de las variables de angulación e inclinación en la media pendiente.

En esta ocasión cuando se realiza la curva hacia la izquierda la angulación de la pierna exterior derecha es menor en el grupo de expertos que en el avanzado como veíamos en el caso de la zona de alta pendiente pero no ocurre lo mismo con la angulación de la pierna exterior izquierda cuando se realiza la curva hacia el otro lado, ya que, aunque sigue siendo mayor en el grupo de esquiadores avanzados en este caso las diferencias no son significativas.

Por último, mostramos los datos de la baja pendiente para las mismas variables analizadas en la tabla 7.

En el caso de la baja pendiente podemos observar que la mayoría de las variables tienen una diferencia significativa, pero existen variables que no la presentan.

Con respecto a las variables analizadas para la curva hacia la izquierda la angulación de la cadera externa derecha y la angulación de la pierna externa derecha no tienen diferencias significativas. En el caso de la curva hacia el otro lado no existen diferencias significativas en la angulación de la cadera externa izquierda.

	Avanzados	Expertos	
Curva hacia la izquierda			
	Media \pm Desviación típica	Media \pm Desviación típica	p
Ang cadera	21,10 \pm 2,04	21,90 \pm 3,31	n.s.
Ang. rodilla	27,33 \pm 5,19	20,10 \pm 6,40	0,001
Ang. pierna	46,33 \pm 2,55	46,24 \pm 5,89	n.s.
Inclinación	24,62 \pm 5,11	31,19 \pm 5,05	0,001
Curva hacia la derecha			
	Media \pm Desviación típica	Media \pm Desviación típica	p
Ang cadera	12,48 \pm 2,56	13,14 \pm 3,65	n.s.
Ang. rodilla	25,19 \pm 3,12	19,52 \pm 5,89	0,001
Ang. pierna	53,43 \pm 4,24	51,71 \pm 6,37	0,036
Inclinación	19,52 \pm 3,81	25,00 \pm 4,21	0,000

n.s. = no significativo, $p > 0,05$

Tabla 7. Comparación por nivel de los parámetros estudiados por Kinovea para la baja pendiente.

En el Gráfico 4 observamos la comparativa de las variables de la angulación y de la inclinación para la baja pendiente.

Igualmente, que los casos anteriores la inclinación del centro de gravedad en la baja pendiente es mayor en los esquiadores expertos que en los esquiadores avanzados.

En el caso de la angulación de la cadera pese a ser mayor en los esquiadores expertos en este caso no existen diferencias significativas entre ambos grupos de esquiadores. Estas diferencias si son significativas en el caso de la angulación de la rodilla dado que es mayor en los esquiadores de nivel avanzado para compensar esa falta de inclinación en comparación con los esquiadores de nivel experto.

En la comparación de la angulación de la pierna en el caso de la realización de la curva hacia la izquierda observamos que pese a ser mayor en los esquiadores de nivel avanzado no existe una diferencia significativa como en el caso de la realización de la curva hacia la derecha.

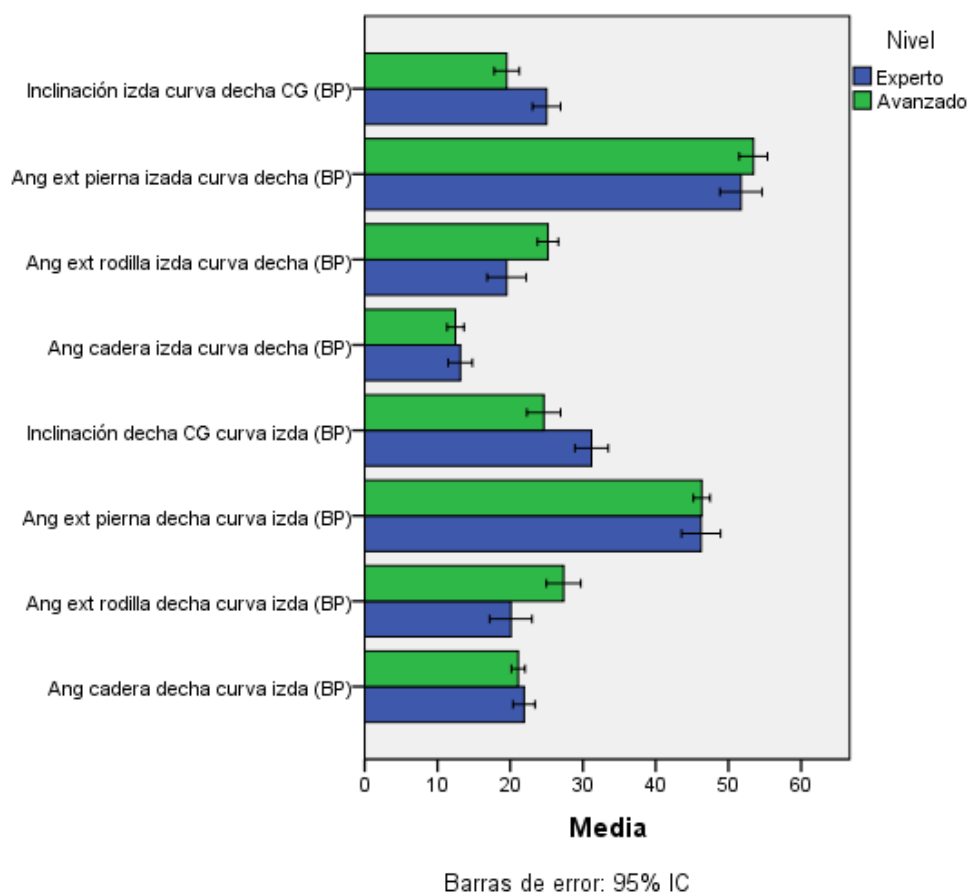


Gráfico 4. Comparación entre ambos niveles de las variables de angulación e inclinación en la baja pendiente.

Además, analizaremos si existe diferencia entre los hombres y las mujeres de los diferentes niveles. Para ello realizaremos un análisis del rendimiento de ambos grupos para conocer si existe diferencia entre ambos sexos.

Por lo tanto, se ha analizado la velocidad y el tiempo para el grupo de expertos comparando a ambos sexos. Para ello se ha realizado la prueba no paramétrica de Mann-Whitney en la cual hemos obtenido el resultado de que $p=0,546$ y por lo tanto no existen diferencias significativas entre ambos sexos con respecto a las variables de rendimiento.

En el caso del grupo de los esquiadores de nivel avanzado se realizó el mismo procedimiento que anteriormente y en este caso se obtuvo una $p=0,271$ por lo que tampoco existen diferencias significativas de rendimiento entre ambos sexos.

Dado que no existe diferencias significativas entre ambos sexos en las variables de rendimiento no es importante conocer la diferencia entre ambos en las variables de angulación e inclinación dado que el rendimiento es similar.

Para terminar, parece interesante realizar el análisis de la correlación que existe entre las variables de rendimiento de tiempo y velocidad con la cinemática de los esquiadores.

Para ello comenzaremos analizando la correlación que existe entre el tiempo y la cinemática realizada por parte de ambos grupos de nivel en las diferentes partes del trazado.

Como podemos observar en los gráficos 5, el tiempo tiene una correlación significativa con el la inclinación que realizan los esquiadores en todas las partes del recorrido y en las curvas hacia ambos lados.

Cabe destacar que, en todos los casos, existe una correlación con una línea de regresión negativa en la que se observa la influencia que tiene la inclinación del centro de gravedad en la variable del rendimiento marcada por el tiempo.

Esta relación se observa de manera que cuanto mayor es la inclinación realizada por los esquiadores, en la alta, media y baja pendiente, en las curvas hacia ambos lados menor es el tiempo que los esquiadores han tardado en realizar el trazado.

De esta forma podemos entender que según sea la inclinación que realizan nuestros esquiadores en las diferentes zonas del trazado podremos predecir de manera más o menos efectiva el tiempo que van a realizar.

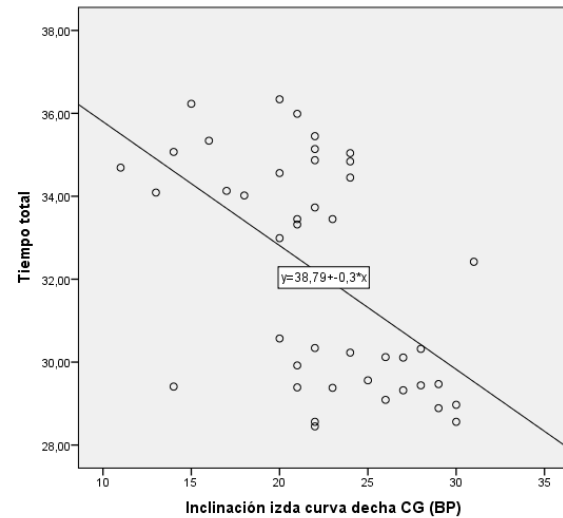
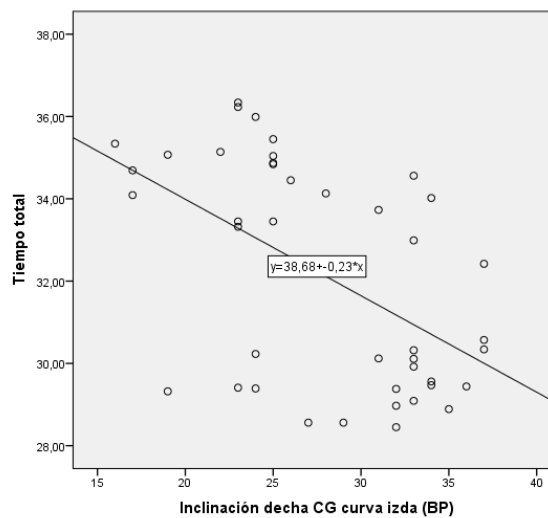
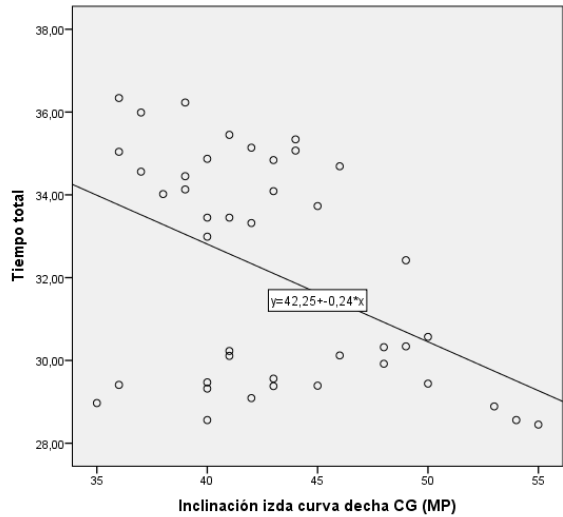
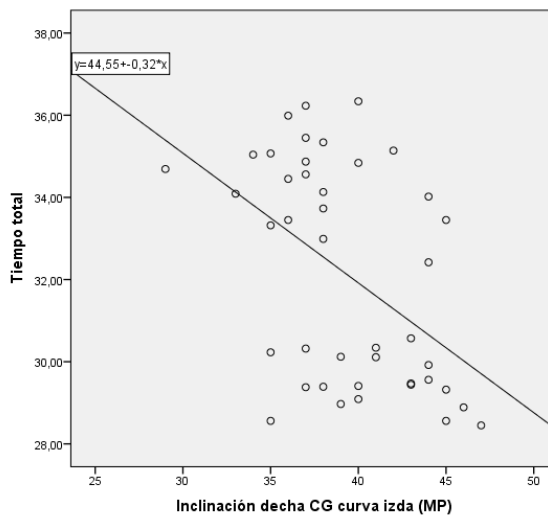
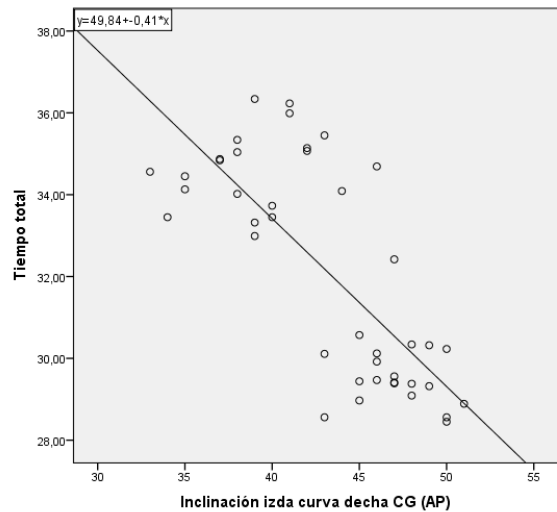
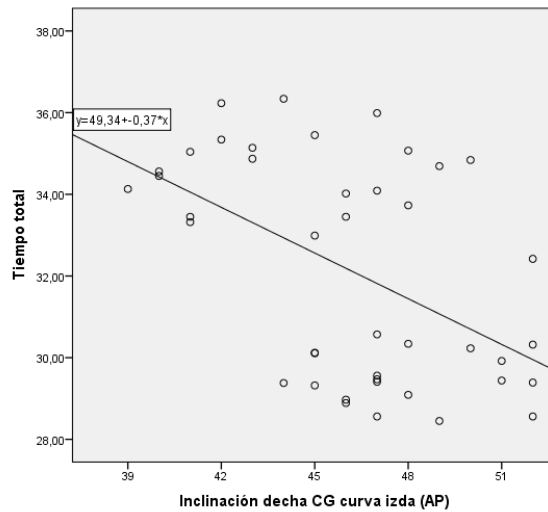


Gráfico 5. Gráficos de dispersión con línea de regresión de las correlaciones existentes entre el tiempo y la inclinación del centro de gravedad realizando la curva hacia ambos lados en los tres tipos de pendientes, alta, media y baja.

Seguidamente observaremos la correlación que existe entre los diferentes tipos de angulación que hemos analizado durante este estudio. Comenzaremos con la correlación existente entre el tiempo y la angulación de la cadera producida por los esquiadores en el trazado analizado. En el siguiente gráfico 6 podremos observar dicha correlación entre ambos parámetros.

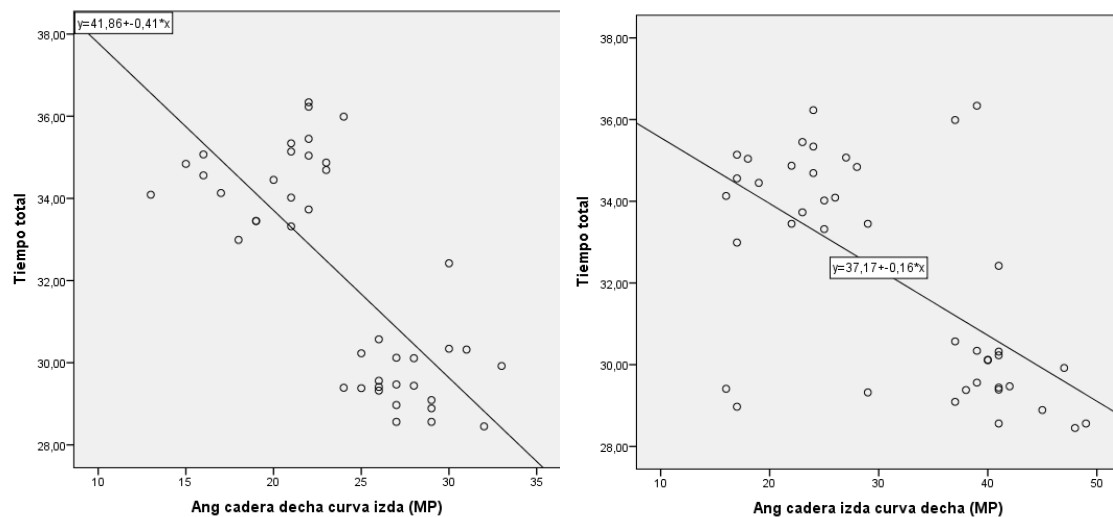


Gráfico 6. Gráfico de dispersión y línea de regresión de la correlación entre la variable de rendimiento, tiempo y la angulación de la cadera en la curva realizada hacia ambos sentidos en la media pendiente.

En el caso del tiempo y la angulación de cadera vemos que solo poseen una correlación significativa en la media pendiente.

En el resto de pendientes la búsqueda del apoyo exterior se realiza por medio de la angulación de la rodilla, para conseguir un mejor apoyo y que el tiempo de realización del trazado sea menor. Este hecho lo podemos observar en el gráfico 7 que presentamos a continuación.

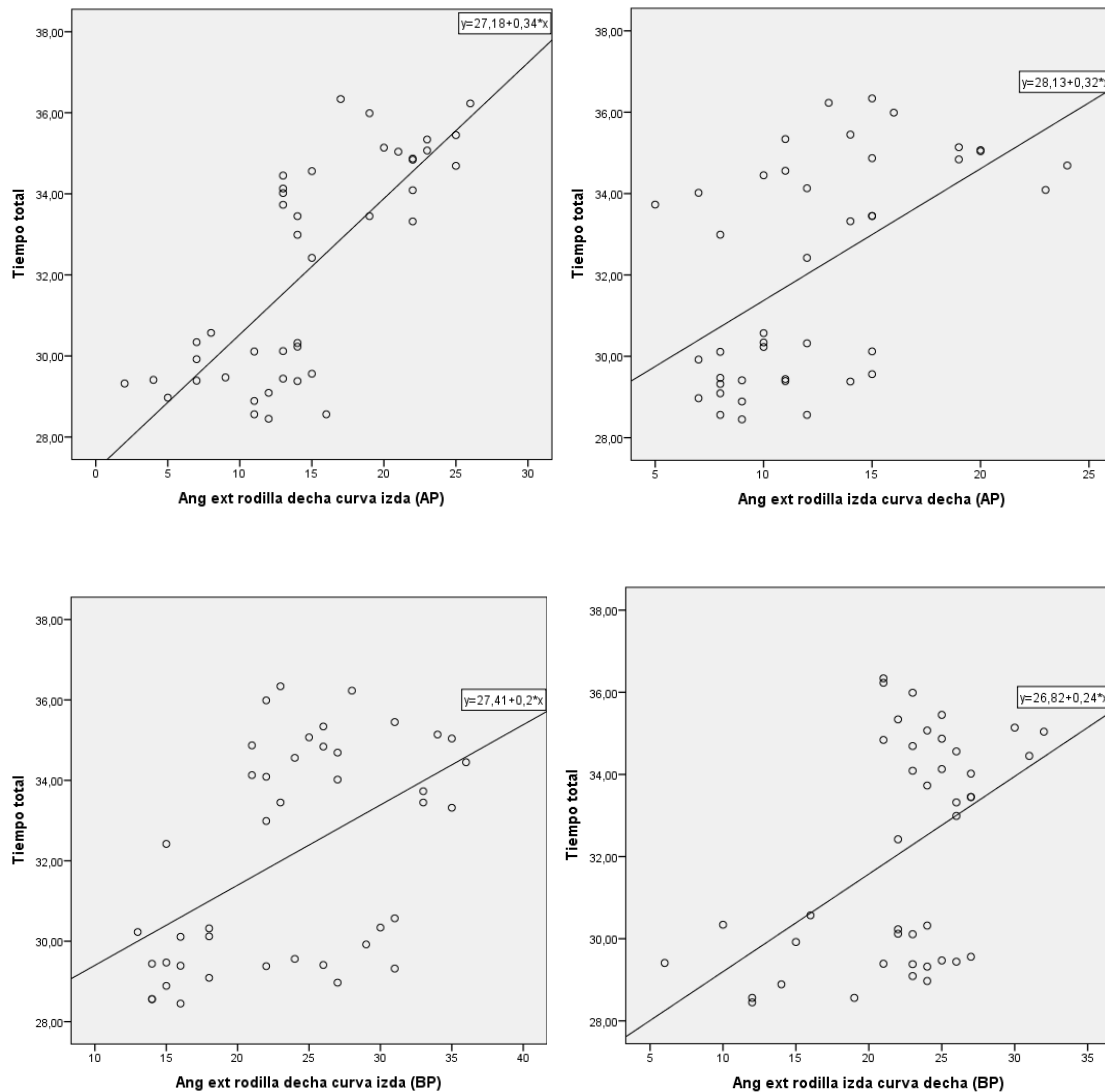


Gráfico 7. Gráfico de dispersión y recta de regresión de la variable de rendimiento tiempo y la angulación de la rodilla realizada por los esquiadores en las curvas hacia ambos lados en las zonas de alta y baja pendiente.

La angulación de rodilla se utiliza cuando la inclinación realizada por el esquiador no es la correcta y la angulación de cadera no se puede realizar para buscar el apoyo efectivo en el esquí exterior. Es por eso que exista una correlación significativa positiva entre estas variables dado que cuanto mayor es la angulación de rodilla realizada por los esquiadores mayor es el tiempo que tardan los esquiadores en realizar el trazado.

Por último, analizaremos la angulación producida por la pierna y la correlación que tienen con el tiempo en el que los esquiadores realizaron el trazado (gráfico 8).

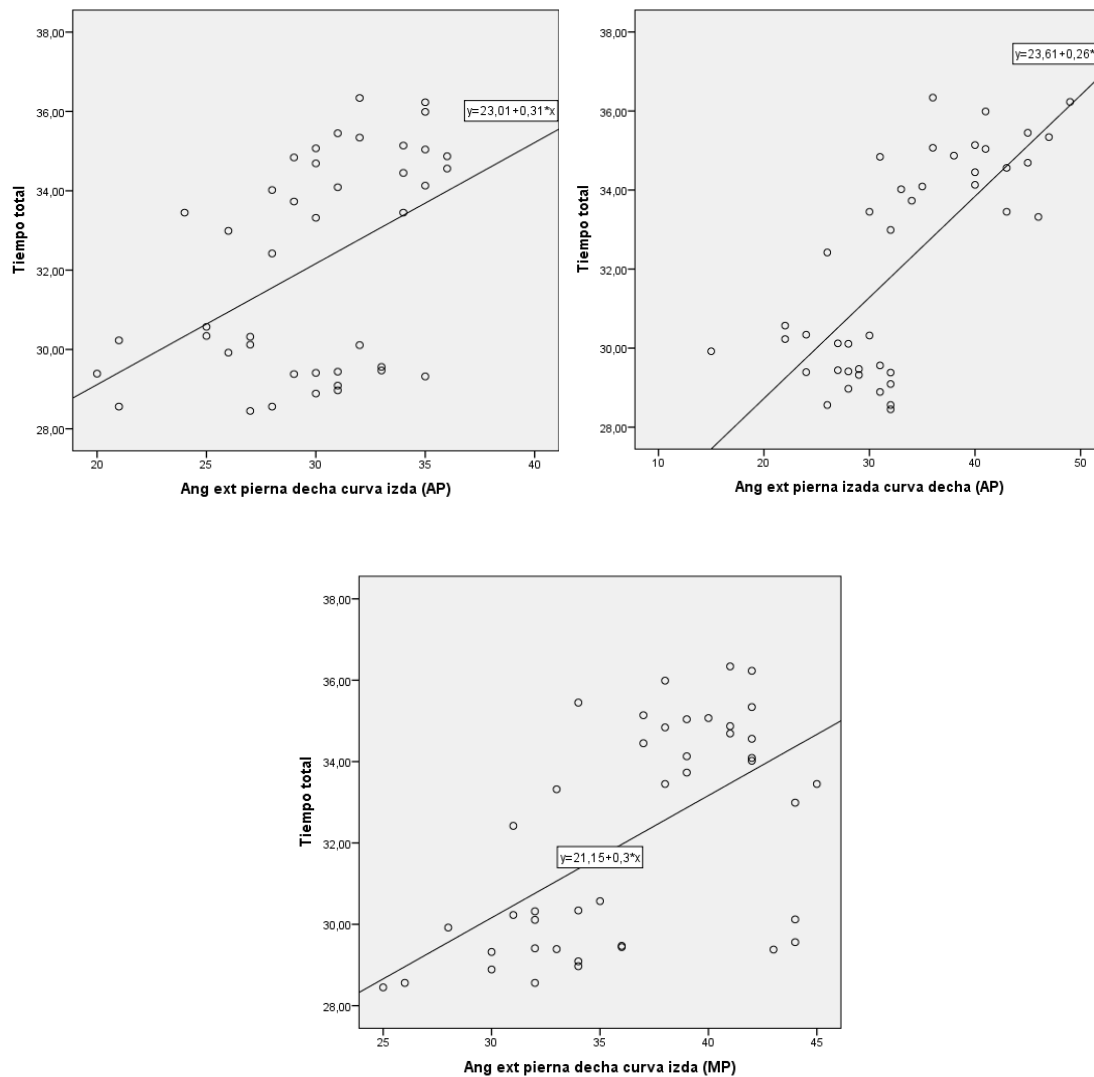


Gráfico 8. Gráfico de dispersión y recta de regresión de la variable de rendimiento tiempo y la angulación de la pierna realizada en la curva hacia ambos lados en la zona de alta pendiente y en la curva hacia la izquierda de la media pendiente.

La correlación que podemos observar entre ambas variables nos hace observar que cuanto mayor es la angulación de la pierna mayor es el tiempo realizado por el esquiador. Esto es debido a como hemos visto anteriormente si la inclinación del esquiador no es la correcta la angulación de la pierna producida por el

esquiador es mayor y por lo tanto se realiza una cinemática del esquí menos efectiva.

En el caso de la variable de rendimiento de velocidad, las variables cinemáticas que le afectan son las mismas que en el caso anterior. En el caso de la velocidad la correlación será inversa es decir cuanto mayor sea la inclinación mayor será la velocidad, cuanto mayor sea la angulación de cadera mayor será la velocidad y en el caso de la angulación de rodilla y de pierna cuanto mayor sean estas variables, menor será la velocidad alcanzada por los deportistas.

5. Discusión

El estudio anteriormente relatado analiza el rendimiento y la cinemática de dos grupos de esquiadores, un grupo de esquiadores de nivel avanzado con respecto a un grupo de esquiadores de nivel expertos. Tal y como ha demostrado el análisis estadístico descriptivo de ambos, son grupos con unas características similares, por lo que la muestra estuvo correctamente seleccionada a fin de evitar que este tipo de variables puedan influir en los resultados obtenidos. El único caso a destacar que existe diferencia es el caso del IMC, pero este como ya hemos visto anteriormente no afecta al rendimiento de los corredores.

Partiendo de esta situación propicia para la realización del estudio, eliminando el mayor número de alteraciones dependientes de las características físicas de la muestra, se han obtenido una serie de resultados gracias al análisis estadístico realizado sobre las variables.

En primer lugar, se analizó, la comparación de las variables de angulación en inclinación en los diferentes tipos de pendiente y en las curvas hacia ambos lados para el grupo de nivel experto.

En el caso de los esquiadores de nivel experto cuanto mayor es la pendiente de la pista mayor es la inclinación alcanzada por los mismos. Estos datos se deben a que los esquiadores de nivel experto debido a su mayor destreza técnica y aprovechando la influencia de la pendiente son capaces de alcanzar mayor inclinación, y por lo tanto tener mayor toma de cantos y mejores apoyos para poder realizar las curvas de manera efectiva. Otro de los aspectos que pueden influir sobre esta inclinación es que los esquiadores al pasar por las zonas de alta y media pendiente contaban con una velocidad más alta que en la baja

pendiente debido a que justo la zona de baja pendiente se encontraba al comienzo del trazado y los esquiadores todavía estaban aumentando la velocidad. Esta inclinación va a depender directamente de la velocidad tangencial y la consistencia de la nieve (dureza, calidad...) (14).

Por otro lado, la angulación de cadera que presentan los esquiadores de nivel experto es mayor en las zonas donde los esquiadores han alcanzado mayores niveles de inclinación. De acuerdo con el estudio de Supej et al. (9) es normal que se en mayores valores de angulación de cadera en las zonas de pendientes más pronunciadas debido a que se necesita un mayor apoyo en el esquí exterior.

Además, existe una pequeña diferencia con el estudio citado anteriormente con respecto a la angulación de la rodilla dado que esta angulación es mayor en los esquiadores de nivel de copa del mundo cuanto mayor es la pendiente y en nuestro caso se produce todo lo contrario. Los datos obtenidos en la zona de la media pendiente son más similares al artículo anterior dado que en esta zona se encontraba justo después de la zona de alta pendiente y los esquiadores llevaban una velocidad mayor y por lo tanto necesiten aplicar una mayor fuerza en el esquí exterior para poder realizar la curva de manera efectiva y por este motivo esa alta angulación de la rodilla externa. La alta angulación de rodilla en la zona de baja pendiente se debe a que los esquiadores de nuestro estudio no son capaces de generar la misma inclinación que los esquiadores de copa del mundo en esta zona y por lo tanto debe realizar la curva compensado con la angulación de la rodilla para que esta curva sea más efectiva.

En el caso de los esquiadores de nivel avanzado podemos observar como el nivel de inclinación alcanzo por este grupo es mucho menor que el grupo de expertos. Este suceso seguramente se produzca por el nivel que presentan de

esquí los esquiadores al no ser capaces de aprovechar la pendiente para realizar una buena inclinación en la zona de alta pendiente o en algunos casos realizar el viraje de manera derrapada al no ser capaces de realizar curvas conducidas en esta zona.

Por lo tanto, en la zona de media pendiente donde ellos se encuentran más cómodos y su velocidad es mayor son capaces de realizar mayores inclinaciones para buscar posteriormente unos buenos apoyos en el esquí exterior.

Al igual que en los esquiadores de nivel experto la angulación de cadera sigue siendo mayor en la zona de alta pendiente. Esto ocurre, porque los esquiadores de nivel avanzado pese a no tener el nivel suficiente para alcanzar altos grados de inclinación en la zona de alta pendiente siguen necesitando tener mayores grados de angulación en la zona de más pendiente para poder realizar un mayor apoyo y poder realizar la curva.

En el caso de este grupo de esquiadores sí que se dan mayores angulaciones de rodilla, pero no son debidos a la necesidad de utilizar esta angulación para poder realizar un giro efectivo debido a la velocidad y la inclinación alcanzada, sino que puede ser debido de nuevo a la falta de nivel de los esquiadores o bien por la falta de angulación en la zona media o por la excesiva angulación de cadera en la zona de baja pendiente, produciendo una curva más cerrada de lo normal.

Continuamos con la comparación de los niveles de inclinación y angulación entre ambos grupos para las diferentes pendientes estudiadas. Para ello comenzaremos con el análisis de estos factores para la zona donde la pendiente es más elevada.

Como podemos observar en esta zona los esquiadores de nivel experto son capaces de alcanzar mayores grados de inclinación. Esto se debe a que son capaces de utilizar su velocidad y la pendiente. Esta inclinación ayudará al esquiador a poder alcanzar una angulación menor de pierna como es el caso de los esquiadores del grupo experto. Una inclinación ideal permitirá repartir el peso sobre los esquís manteniendo algo más siempre sobre el esquí exterior. Para optimizar al máximo la eficacia del viraje, hay que añadirle la angulación de la cadera y de la rodilla siendo la primera la más importante.(3)

Ambos conceptos harán posible que los corredores puedan tener una mayor incidencia del canto sobre la nieve y de esta manera poder trazar unas curvas más rápidas, canteadas y limpias que los esquiadores con un nivel avanzado no podrán realizar.

Como hemos observado anteriormente no existen diferencias significativas en el caso de la angulación de la cadera entre ambos grupos, pero si existen en la angulación de rodilla. Seguramente los esquiadores de nivel avanzado tengan que compensar con esta angulación de rodilla la falta de inclinación para obtener mayor toma de contacto con el canto del esquí exterior y así conseguir ser más efectivos, por el contrario, los esquiadores expertos solo con la inclinación y manteniendo una buena angulación de la cadera consigan realizar ese buen apoyo en el esquí exterior.

En el caso de la media pendiente podemos observar cómo anteriormente que la inclinación sigue siendo mayor en los esquiadores de nivel experto. En esta pendiente cabe destacar que sí que existe una gran diferencia en la angulación de la cadera de ambos grupos de esquiadores siendo mayor en los esquiadores del grupo experto. Esta diferencia es significativa dado que gracias a estos datos

podemos observar como la angulación de la rodilla en los esquiadores expertos es menor que en los esquiadores avanzados. Estos datos se deben seguramente a lo indicado anteriormente, los esquiadores avanzados tienen que utilizar mayor angulación de la rodilla para buscar un buen apoyo, cosa que los esquiadores expertos con la mayor inclinación y angulación de cadera no necesitan realizarla.

Para terminar, en el caso de la baja pendiente se produce de nuevo mayor inclinación por parte de los esquiadores expertos.

En este caso solo cabe destacar la angulación de rodilla dado que es la única variable que tiene una diferencia significativa hacia ambos sentidos de giro. Esta diferencia viene dada por la inclinación producida por los esquiadores, ya que la búsqueda de apoyo se debe realizar por medio de esta angulación al tratarse de la primera parte del trazado donde los corredores cuentan con menos velocidad y pendiente para poder realizar buenas inclinaciones. En el artículo de Westin et al (15) podemos observar cómo los esquiadores que llevan más tiempo esquiado sufren menos lesiones de rodilla al utilizar menos la angulación de la rodilla.

Una vez analizados los parámetros biomecánicos de ambos grupos de esquiadores, continuamos con el estudio del rendimiento y si existen diferencias significativas con respecto al sexo en ambos grupos de nivel.

Como se expresa en la tabla 2 existen diferencias significativas en cuanto a la velocidad y el tiempo entre ambos grupos de nivel analizados, siendo el grupo de expertos el que mayor rendimiento tiene. De acuerdo con Gilgien et al. (16) los esquiadores cada vez buscan aumentar el volumen de entrenamiento para tener mejores resultados por lo tanto los esquiadores de nivel experto al tener

mayor volumen de entrenamiento su rendimiento es mejor que el grupo de esquiadores avanzados.

Analizadas estas variables de rendimiento; tiempo y velocidad, entre sexos para cada grupo de nivel no se encontraron diferencias significativas, este suceso coincide con el estudio realizado por Neumayr et al. (17) en el cual se demuestra que el rendimiento en el esquí alpino no depende de variables fisiológicas únicas sino que influyen factores más importantes como la técnica.

Teniendo en cuenta que no existen diferencias significativas entre los diferentes sexos en los dos grupos de nivel, pero si entre ambos grupos de nivel, a continuación, realizamos el estudio de la correlación entre el rendimiento y los diferentes ángulos de inclinación y angulación.

Comenzamos con el análisis de la correlación entre el tiempo y la inclinación y observamos que en este caso existe una correlación negativa entre ambos parámetros, en las curvas hacia ambos lados en todas las partes del trazado. Es decir, cuanto mayor es la inclinación de los corredores menor es el tiempo que tardan en realizar dicho trazado y por lo tanto tienen un mayor rendimiento. Estos resultados coinciden con los resultados teóricos obtenidos por Rudakov et al. (18) en su estudio en el cual se demostró que teniendo en cuenta la inclinación producida por los esquiadores se rebaja en un 8% el tiempo óptimo en realizar el trazado.

En el caso de la angulación de cadera y su correlación con el tiempo se observa que solo tienen correlación negativa significativa en la zona de media pendiente. Esto puede ser debido a que los corredores en esta zona llevan más velocidad que en las demás y la inclinación generada por los mismo hace que se tenga

que realizar una angulación mayor para que el apoyo en el esquí exterior sea más efectivo. De esta manera cómo podemos observar en la gráfica 6 al realizarse más angulación de cadera los corredores realizan mejor tiempo al mantener un apoyo más efectivo sobre el esquí exterior.

En las partes donde la angulación de cadera no es significativa con respecto al tiempo, existe una correlación positiva significativa con la angulación de la rodilla. Esto es debido a la falta de inclinación por parte de los corredores lo que hace que, a mayor angulación de rodilla para buscar un buen apoyo, mayor es el tiempo en que tardan los esquiadores en realizar el trazado.

Para terminar si se analiza la correlación de la angulación de la pierna observamos que existe una correlación positiva significativa en la zona de baja pendiente dado que cuanto mayor es esta angulación mayor es el tiempo que tarda el esquiador en realizar el trazado. Este aumento de la angulación de la pierna es debido como hemos visto anteriormente a su relación con la inclinación dado que cuanto menor es la inclinación mayor es el ángulo de la pierna.

En el caso de la velocidad la correlación es inversa a la correlación producida por el tiempo dado que a menor tiempo en realizar el trazado mayor será la velocidad alcanzada por el esquiador.

Una vez analizados y constatados los resultados obtenidos en este estudio podemos comprobar como el estudio videográfico es una buena forma de analizar la cinemática del esquí y a través de él poder predecir el rendimiento que tendrán nuestros corredores en las diferentes partes del trazado.

6. Conclusiones

- El grado de pendiente afecta a la cinemática de los esquiadores dado que cuanto mayor era el grado de pendiente mayores fueron los ángulos de angulación e inclinación por parte de los esquiadores del estudio: nivel de experto y avanzado.
- Los esquiadores de nivel experto alcanzan mayores grados de inclinación y angulación que los esquiadores de nivel avanzado en los diferentes tipos de pendientes.
- No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre sexo en los diferentes grupos de nivel.
- Existe una gran relación entre la cinemática del esquí y el rendimiento llevado a cabo por los esquiadores en un trazado con diferentes pendientes. Siendo la inclinación el factor más determinante sobre el tiempo que los esquiadores tardaron en realizar el descenso.
- El estudio de la cinemática del esquí realizado en este estudio por medio del análisis videográfico es una buena forma de analizar el rendimiento de los esquiadores y realizar una buena reorientación del entrenamiento.

7. Limitaciones

La falta de estudios experimentales que analicen la cinemática de los esquiadores en diferentes pendientes y su relación con el rendimiento hace que los resultados encontrados no se puedan comparar con bibliografía actual.

Existen investigaciones acerca de la cinemática del esquí y su realización con el rendimiento. El problema reside en la difícil aplicación de estas investigaciones en el estudio que he llevado a cabo, ya que las técnicas utilizadas por los mismos son con materiales muy novedosos. En un futuro seguro que existen investigaciones con nuevos materiales revolucionarios que ayuden a los entrenadores e investigadores en la mejora del rendimiento de un deporte tan bonito como el esquí alpino.

8. Agradecimientos

Este estudio no hubiera sido posible sin la ayuda de mis compañeros de trabajo del Centro Técnico Valdelinaresquí, así como la participación de los esquiadores del club de esquí Cota 2000.

Además, me gustaría agradecer a la estación de esquí de Aramon Valdelinares por dejarme realizar el estudio en una pista de su estación.

Para finalizar agradecer la ayuda de mi tutora del trabajo de fin de grado Eva María Gómez que me ha guiado durante la elaboración de este estudio.

9. Bibliografía

1. Roldan E, Abajo J, Szul R, Abajo D. Material esquí alpino. 2010.
2. Pfister G. Sport, Technology and Society: From Snow Shoes to Racing Skis. *Cult Sport Soc.* 2001;4(1):73–98.
3. Puente R. Técnica y Pedagogía del Esquí Alpino: Manual del profesor. 2008.
4. Supej M, Holmberg HC. Recent kinematic and kinetic advances in Olympic alpine skiing: Pyeongchang and beyond. *Front Physiol.* 2019;10(FEB):1–7.
5. Gilgien M, Crivelli P, Spörri J, Kröll J, Müller E. Characterization of course and terrain and their effect on skier speed in World Cup alpine ski racing. *PLoS One.* 2015;10(3):1–25.
6. FIS. Reglamento internacional de esquí (RIS) Libro IV NORMAS COMUNES PARA ESQUI ALPINO. 2018. 94–102 p.
7. FIS. Specifications for Alpine competition equipment. 2019;2019(July 2018).
8. Guerrero C. Esquí, rendimiento y emoción. 2008.
9. Supej M, Hébert-Losier K, Holmberg HC. Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of world cup slalom skiers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(3):361–8.
10. Hébert-Losier K, Supej M, Holmberg HC. Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Sport Med.* 2014;44(4):519–33.
11. Klous M, Müller E, Schwameder H. Collecting kinematic data on a ski/snowboard track with panning, tilting, and zooming cameras: Is there sufficient accuracy for a biomechanical analysis? *J Sports Sci.* 2010;28(12):1345–53.
12. Vansteenkiste P, Decroix M, Deconinck FFJA, Lenoir M, Wazir MRWN, Zeuwts L. Expert – Non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing. *Hum Mov Sci [Internet].* 2017;55(August):229–39. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2017.08.012>
13. Spörri J, Kröll J, Fasel B, Aminian K, Müller E. Course Setting as a Prevention Measure for Overuse Injuries of the Back in Alpine Ski Racing. *Orthop J Sport Med.* 2016;4(2):232596711663071.
14. Gómez P, Gutiérrez M, Soto VM. Análisis de la inclinación del esquiador hacia el interior del viraje de slalom en esquí alpino. 2004;12(1):38–43.
15. Westin M, Harringe ML, Engström B, Alricsson M, Werner S. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in Competitive Adolescent Alpine Skiers. *Orthop J Sport Med.* 2015;6:1–7.

16. Gilgien M, Reid R, Raschner C, Supej M. The Training of Olympic Alpine Ski Racers. 2018;9(December):1–7.
17. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med*. 2003;24(8):571–5.
18. Rudakov R, Lisovski A, Ilyalov O, Podgaets R. Optimisation of the skier's trajectory in special slalom. 8th Conf Int Sport Eng Assoc. 2010;2–5.

10. Anexos

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

Título del protocolo: Influencia de la pendiente en la cinemática de los esquiadores y su utilización en la reorientación del entrenamiento

Investigador principal: Diego Edo Martínez.

Sede donde se realizará el estudio: Aramon Valdelinares

Nombre del paciente:

A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntese con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, del cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

La investigación se llevará a cabo con niños de 15 a 16 años que practiquen esquí alpino. Este se dividirá en dos grupos, uno será de esquiadores avanzados que solo compitan a nivel local y el otro de nivel experto de corredores que compiten a nivel nacional. Este estudio es importante para conocer la cinemática del esquí alpino y su influencia en el rendimiento para la reorientación de los diferentes entrenamientos.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

A usted se le está invitando a participar en un estudio de investigación que tiene como objetivo conocer la influencia de la pendiente en la cinemática del esquí alpino y su influencia en el rendimiento.

3. BENEFICIOS DEL ESTUDIO.

Con este estudio conocerá la influencia que tiene la pendiente en la cinemática de los esquiadores y su influencia en el rendimiento para después conocer cuáles son los aspectos que debe mejorar como esquiador y de esta manera aumentar dicho rendimiento.

4. PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO.

En caso de aceptar participar en el estudio se le realizarán algunas preguntas sobre usted, sus antecedentes médicos y deportivos, así como se le realizan mediciones tales como, peso, talla, lateralidad, edad, horas de entrenamiento, inclinación, angulación de pierna, rodilla y cadera, y el tiempo y la velocidad. Estas mediciones se acompañan de un riesgo para los participantes.

5. RIESGOS ASOCIADOS AL ESTUDIO.

Existen riesgos de caída que pueden causar lesiones, incapacidad o incluso la muerte en caso de caída, aunque estos riesgos serán minimizados con las medidas de seguridad obligatorias por la normativa FIS.

6. ACLARACIONES.

- Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, -aun cuando el investigador responsable no lo solicite-, pudiendo informar o no, las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el investigador.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria.

He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación.

Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del participante o del padre o tutor

Fecha

Esta parte debe ser completada por el investigador:

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y le he preguntado si tiene alguna duda.

Firma del investigador

Fecha